

## Estimativa do Sequestro Anual de Carbono da Floresta de Eucalipto e Pinheiro Bravo em Portugal de Acordo com o Protocolo de Quioto

**Margarida Tomé, Marta Baptista Coelho e Paula Soares**

UTL. Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Tapada da Ajuda,  
1349-017 LISBOA

### Introdução

Portugal, ao abrigo do Protocolo de Quioto, está obrigado a reportar as emissões e remoções de carbono relativo às actividades elegíveis no Artº3.3 (Florestação e Desflorestação) e no Artº3.4: Gestão Florestal, Gestão Agrícola e Gestão de Pastagens. Neste documento é apresentada a metodologia desenvolvida pelo ISA para estimar o sequestro de carbono nos povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo nas actividades elegíveis pelos artigos 3.3 e 3.4 (Gestão Florestal) do Protocolo de Quioto. Esta estimativa é baseada num simulador do desenvolvimento da floresta, o SIMYT (forest simulator based on yield tables).

O SIMYT é baseado numa tabela de produção média construída com os dados do IFN de modo a reproduzir a evolução dos povoamentos reais com um índice de qualidade da estação médio e uma densidade, para cada idade, correspondente à média do país. O uso deste simulador implica o uso dos seguintes inputs:

1. Uma tabela de produção média para cada espécie – estas tabelas de produção médias foram construídas usando o modelo GLOBULUS 3.0 (SOARES *et al.*, 2006) para o eucalipto e o modelo Pbravo (PÁSCOA, 1987) para o pinheiro bravo, tendo como base os dados de campo dos dois últimos inventários florestais nacionais (IFN 1995/1997 e IFN 2005/2006). Estas tabelas reproduzem, tanto quanto possível, os valores por hectare observados para cada idade nos povoamentos puros regulares classificados como povoamentos industriais. Também incluem outros tipos de povoamentos como os não industriais (sub-lotados), irregulares e bosquetes e clareiras.
2. Estimativas das áreas de cada um dos tipos de povoamento: povoamentos regulares de diferentes idades (povoamentos de diferentes idades são considerados como diferentes tipos de povoamento para facilitar a explicação), não industriais, irregulares, clareiras e bosquetes. Os povoamentos mistos dominantes e dominados foram incluídos decrescendo as correspondentes áreas estimadas para cada idade de acordo com a razão entre o volume médio por hectare de povoamentos dominantes de eucalipto e o valor da tabela de produção para a mesma idade, obtendo assim áreas equivalentes a povoamentos puros. A soma da área dos povoamentos puros com as áreas equivalentes a puros que

entram em conta com os povoamentos mistos será, daqui para a frente, designada por área de eucalipto.

3. Parâmetros da simulação: inclui uma série de parâmetros usados na simulação, tal como o ano de início da simulação, número de anos a simular, idade mínima para corte, idade mínima para uso industrial após fogo, percentagem de uso pela indústria após fogo, percentagem anual de povoamentos não industriais cortados, percentagem anual de povoamentos irregulares cortados e idade máxima admitida para povoamentos industriais.
4. Cenário: o cenário descreve os valores das variáveis de controlo para cada ano da simulação. Estas variáveis são: volume cortado, área ardida, área de novas plantações, percentagem de área abandonada após corte.

A apresentação da metodologia utilizada está dividida em vários pontos: 1) dados usados; 2) estimativa da taxa de florestação e desflorestação; 3) estimativa do sequestro anual de carbono nas novas plantações após 1990 (actividade 3.3 - florestação); 4) estimativa do sequestro anual de carbono na área que era floresta antes de 1990 e se mantém floresta (actividade 3.4 – Gestão Florestal). Nos pontos 3) e 4), assim como nos resultados, toma-se como exemplo o caso do eucalipto. Usou-se uma metodologia semelhante para o pinheiro bravo.

## **Metodologia**

### *Dados usados*

Este estudo usou dados dos últimos três Inventários Florestais Nacionais: IFN 1990/1992, IFN 1995/1997 e IFN 2005/2006.

O IFN 1990/1992 produziu a cartografia de ocupação do solo para 1990, designada por COS90 (IGEO, 2009). Esta cartografia foi usada como base para a identificação das áreas de novas plantações (Quioto act. 3.3 – florestação) e de áreas florestais convertidas em outros usos (Quioto act.3.3 – desflorestação).

Os dados dos dois últimos inventários nacionais, IFN 1995/1997 e IFN 2005/2006, foram usados para a estimativa do sequestro de carbono.

### *Estimativa de áreas de florestação e de taxas de desflorestação*

Para estimar as áreas de desflorestação e florestação anuais foram usadas duas fontes de dados:

- COS90, cartografia de ocupação do solo em 1990
- Fotointerpretação de fotografias aéreas do IFN 2005/2006 (355737 fotopontos)

A cartografia da COS90 foi sobreposta com os fotopontos de 2005. Os fotopontos (IFN 2005/2006) localizados em áreas não disponíveis na COS90 foram excluídos, resultando um total de 334261 fotopontos que puderam ser usados para estimar as áreas de florestação e desflorestação.

**Tabela 1** - Classificação dos fotopontos para a estimativa das áreas de florestação e desflorestação

	florestação (act.3.3)	desflorestação (act. 3.3)	Floresta desde antes de 1990 (act. 3.4)
COS90	Não floresta	Floresta	Floresta
IFN2005	Floresta	Não floresta	Floresta

As áreas associadas a cada categoria foram estimadas com base na proporção de fotopontos associados a cada uma delas em relação ao número total de fotopontos da área florestal. No caso do eucalipto o balanço entre florestação e desflorestação é positivo para o período entre 1990 e 2005 (41583ha, o que corresponde a 2772 ha ano<sup>-1</sup>) e no caso do pinheiro bravo é negativo (-242152 ha, o que corresponde a -16143 ha ano<sup>-1</sup>) para o mesmo período.

*Estimativa do sequestro de carbono nas áreas de novas plantações (act. 3.3 – florestação)*

Esta simulação foi feita com a tabela de produção construída com os dados do IFN 1995/97 e usando os seguintes pressupostos, no que diz respeito às variáveis de controlo:

1. As novas plantações após 1990 foram plantadas para a produção de madeira e portanto cortadas aos 12 anos (rotação normalmente usada pela indústria); assim, a idade mínima para corte (um dos parâmetros da simulação) foi fixado em 12 anos e foi dado ao volume da procura um valor muito alto, impossível de atingir, de modo a "forçar" o simulador a cortar todos os anos todos os povoamentos que atingem aquela idade.
2. Área plantada anualmente é igual à taxa de florestação.
3. A desflorestação ocorre nas novas plantações após 1990 com a mesma intensidade que nos outros povoamentos.
4. Os fogos florestais ocorrem nas novas plantações após 1990 com a mesma intensidade que nos outros povoamentos.

*Estimativa do sequestro de carbono relativo à desflorestação (act. 3.3 - desflorestação)*

A estimativa do sequestro de carbono relativo à desflorestação (também definida como actividade 3.3 - desflorestação) engloba a desflorestação ocorrida tanto nas novas plantações como na área referida como "Gestão florestal". Os valores apresentados para a desflorestação correspondem à soma das fracções dos valores de sequestro de carbono obtidos com a simulação para a act. 3.3 e 3.4. Essas fracções correspondem à proporção de área desflorestada nas novas plantações e nas áreas de gestão florestal em relação à respectiva área total.

*Estimativa do sequestro de carbono nas áreas de Gestão Florestal (act. 3.4)*

O sequestro de carbono na área florestal que já era floresta antes de 1990 foi estimado usando os dados do IFN 2005/2006 para construir a tabela de produção média para 2006.

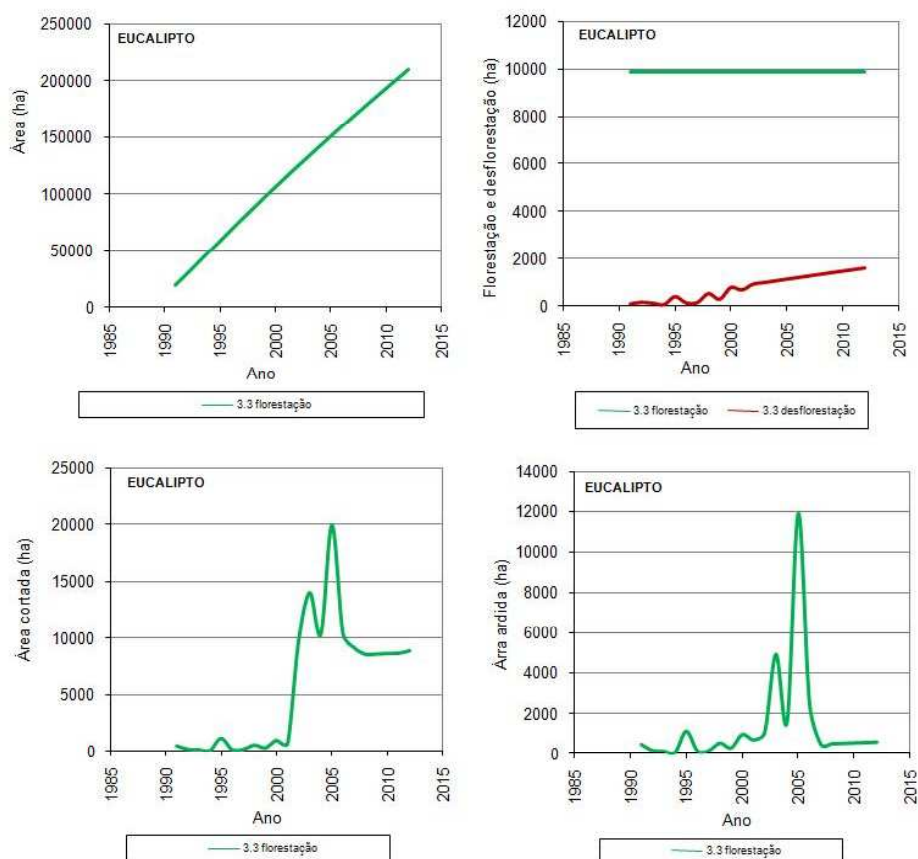
A simulação com o SIMYT foi feita para o período de 2006-2012 tendo em conta os resultados obtidos na simulação anterior para a actividade 3.3:

- Ao volume de procura total em cada ano foi diminuído o volume de madeira cortada em cada ano no período 2006-2012 nas novas plantações após 1990, obtendo-se o volume da procura para a área correspondente à actividade 3.4.
- À área de cada classe de idade em 2006 (área de eucalipto total) foi diminuída a área da classe de idade correspondente obtida para as novas plantações em 2006, obtendo-se assim a distribuição de áreas por classe de idade para a área correspondente à actividade 3.4.

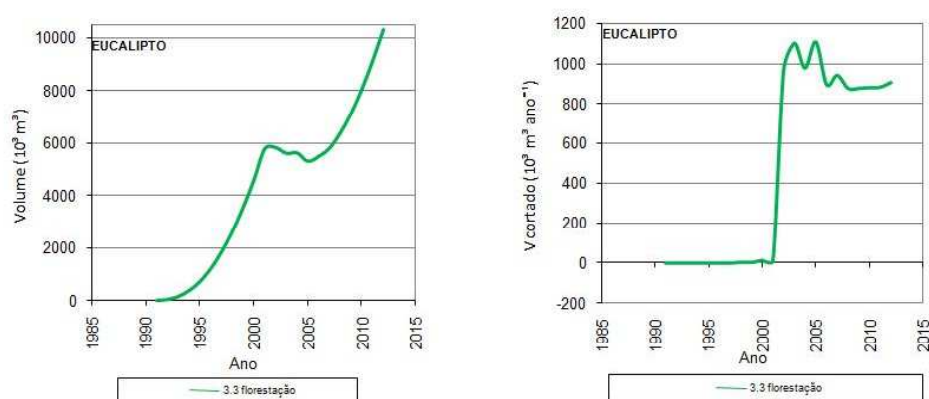
**Resultados***Estimativa do sequestro de carbono nas áreas de actividade 3.3 (novas plantações e desflorestação)*

As figuras 1 a 3 mostram alguns dos resultados mais importantes da simulação da evolução dos povoamentos de eucalipto afectos à actividade 3.3. A figura 1 mostra a evolução das áreas, a figura 2 a evolução do volume e a figura 3 a evolução do sequestro de carbono. Como esperado, as novas plantações estão a sequestrar uma grande quantidade de carbono devido à elevada taxa de florestação estimada. Na figura 1 pode ver-se que, com excepção de pequenos cortes em povoamentos ardidos, os cortes só começam a ocorrer quando as plantações de 1990 atingem os 12 anos mantendo-se, a partir daí, uma área de corte aproximadamente constante, embora se note o impacto dos grandes fogos, até que os povoamentos plantados em 1990 atinjam os 24 anos (para além do horizonte de simulação), altura em que ocorrerá um novo acréscimo de área cortada. Na figura 2 pode ver-se que a evolução do volume cortado acompanha um padrão correspondente. A evolução do volume em pé reflecte, de forma drástica, o efeito do início dos cortes e dos grandes incêndios de 2003 e 2005.

As tabelas 2 e 3 mostram os valores de sequestro e perda de carbono estimados para a actividade 3.3 – florestação e actividade 3.3 - desflorestação desde o começo do período de compromisso. Nestas tabelas os *Ganhos* correspondem ao crescimento total em carbono, enquanto que o sequestro líquido é o carbono realmente sequestrado após todas as perdas terem sido descontadas: carbono dos produtos e perdas de carbono devido ao corte e fogo.



**Figura 1** - Simulação da evolução da área florestal de eucalipto correspondente às novas plantações após 1990 (act 3.3)



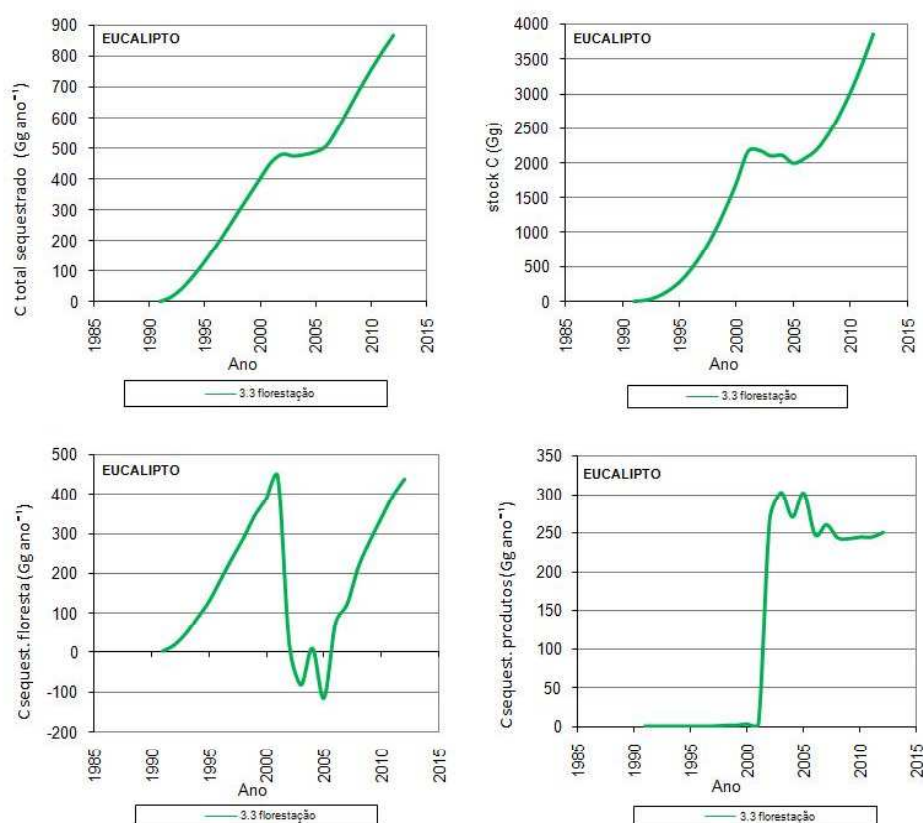
**Figure 2** - Simulação da evolução do volume correspondente às novas plantações de eucalipto após 1990 (act 3.3)

**Tabela 2** - Simulação do sequestro de carbono no período 2008-2012 correspondente às novas plantações de eucalipto após 1990 (act 3.3). O ano 2008 está indicado a *bold*

Ano	Área (ha)	total (Gg C)			Biomassa da parte aérea (Gg C)			Biomassa abaixo do solo (Gg C)		
		Ganhos	Perdas	Balanço líquido	Ganhos	Perdas	Balanço líquido	Ganhos	Perdas	Balanço líquido
<b>2008</b>	<b>174676</b>	627	-304	323	502	-281	221	125	-23	102
2009	183047	691	-301	390	553	-278	275	138	-23	115
2010	191351	752	-300	452	602	-277	325	150	-23	127
2011	199589	809	-298	510	648	-276	372	161	-23	138
2012	207760	861	-305	556	690	-282	408	172	-23	148

**Tabela 3** - Simulação do sequestro de carbono no período de 2008-2012 correspondente à Desflorestação em povoamento de eucalipto (act 3.3). O ano 2008 está indicado a *bold*

Ano	Área (ha)	total (Gg C)			Biomassa da parte aérea (Gg C)			Biomassa abaixo do solo (Gg C)		
		Ganhos	Perdas	Balanço líquido	Ganhos	Perdas	Balanço líquido	Ganhos	Perdas	Balanço líquido
<b>2008</b>	<b>6507</b>	17	-214	-197	14	-172	-158	3	-43	-39
2009	6534	17	-191	-174	13	-153	-139	3	-38	-35
2010	6561	18	-190	-172	14	-152	-138	4	-38	-34
2011	6587	20	-194	-174	16	-155	-139	4	-39	-35
2012	6613	21	-204	-183	17	-163	-146	4	-41	-36

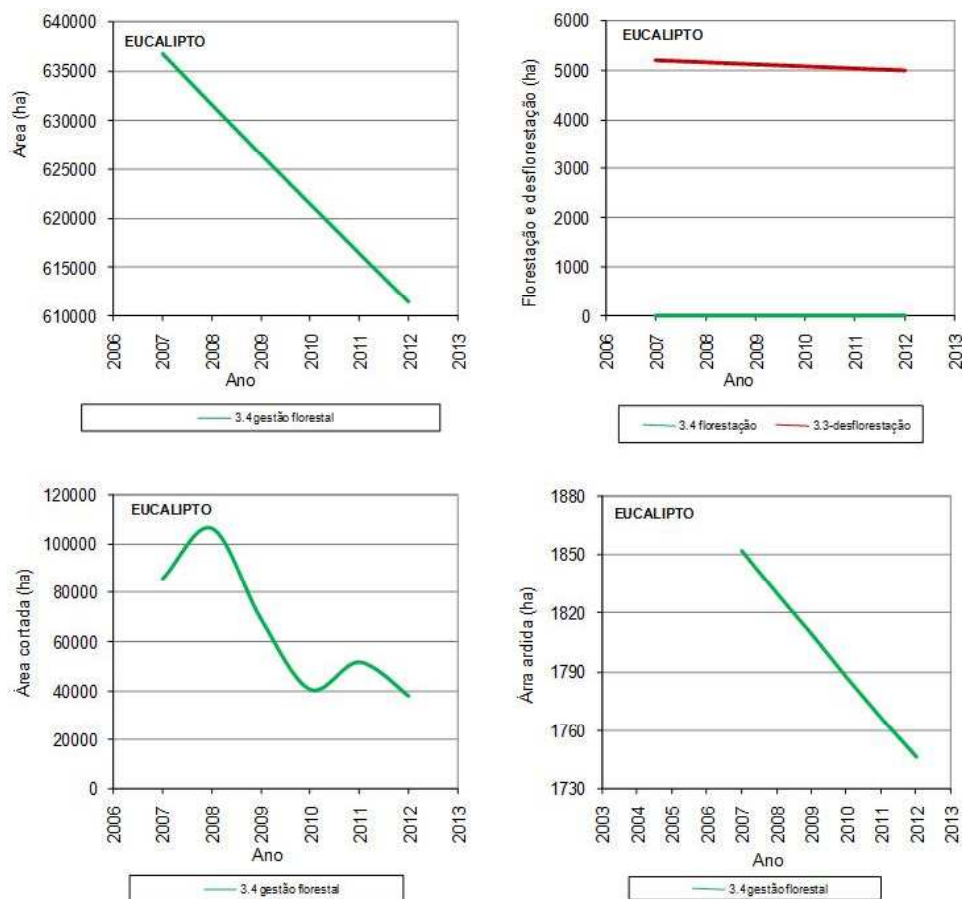


**Figura 3** - Simulação da evolução do sequestro de carbono correspondente às novas plantações de eucalipto após 1990 (act.3.3)



*Estimativa do sequestro de carbono nas áreas de Gestão Florestal (act.3.4)*

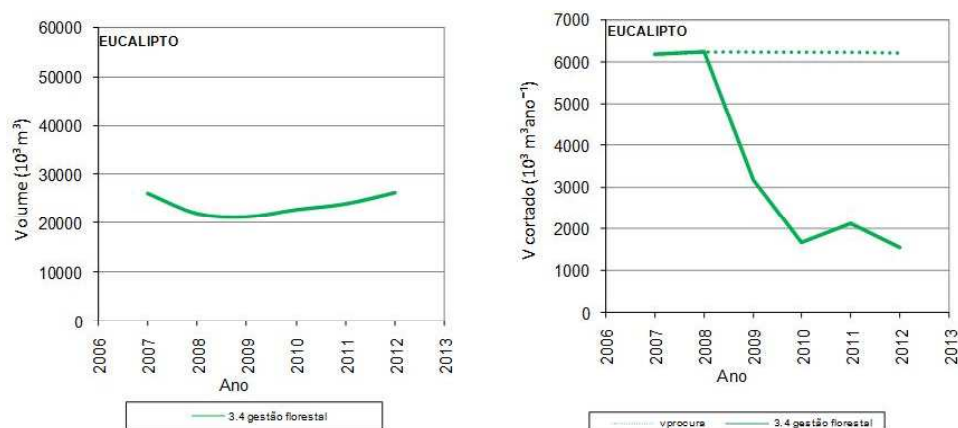
Os resultados da simulação para o eucalipto feita para a actividade 3.4 são mostrados nas figuras 4 a 6 e nas tabelas 5 e 6. Na figura 5 pode-se verificar que não foi possível atingir o volume da procura correspondente à actividade 3.4. Este facto implica que na realidade devem ter ocorrido cortes nas novas plantações em povoamentos de idade inferior a 12 anos, isto é, o volume cortado nas áreas da act.3.3 deve ter sido superior ao apresentado no gráfico.



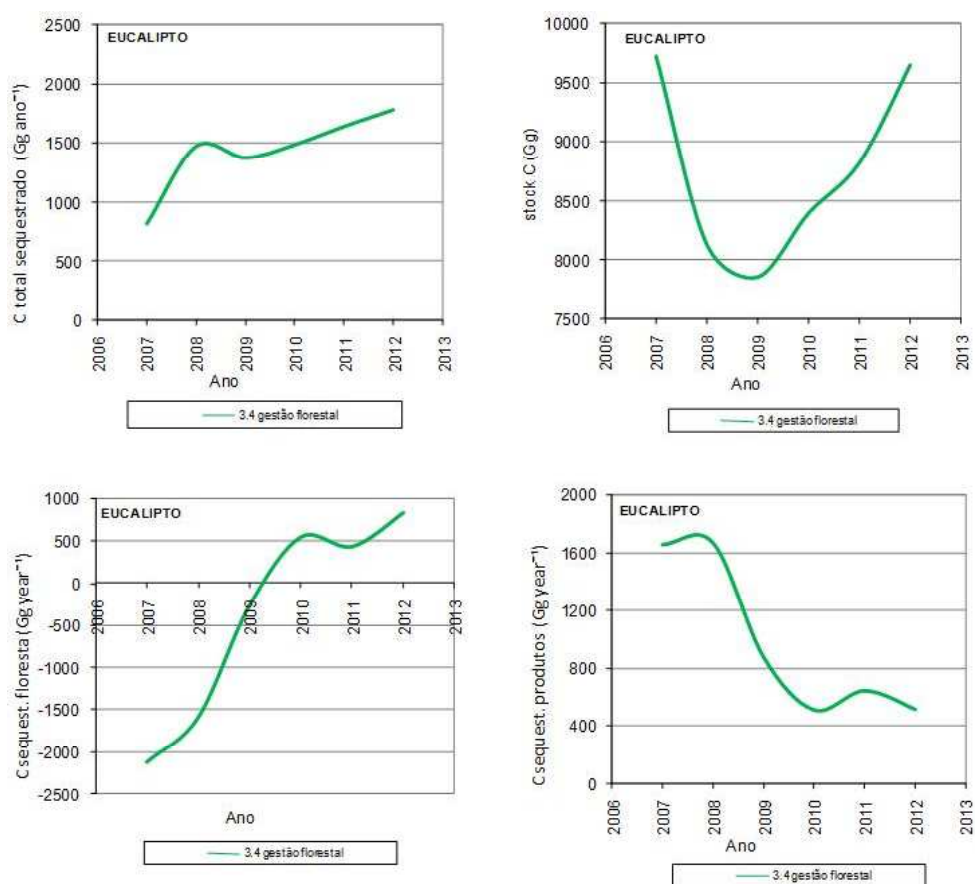
**Figura 4** - Simulação da evolução da floresta de eucalipto correspondente à área de Gestão Florestal de eucalipto (act.3.4)

**Tabela 4** - Simulação do sequestro de carbono para o eucalipto no período 2008-2012 correspondente às áreas de Gestão Florestal (act. 3.4). O Ano 2008 está a *bold*

Ano	Área (Kha)	total (Gg C)			Biomassa da parte aérea (Gg C)			Biomassa abaixo do solo (Gg C)		
		Ganhos	Perdas	Balanco liquido	Ganhos	Perdas	Balanco liquido	Ganhos	Perdas	Balanco liquido
<b>2008</b>	<b>626</b>	<b>1458</b>	<b>-2521</b>	<b>-1063</b>	<b>1168</b>	<b>-2328</b>	<b>-1160</b>	<b>290</b>	<b>-193</b>	<b>97</b>
2009	621	1362	-1320	42	1091	-1219	-128	271	-101	170
2010	616	1472	-720	752	1179	-665	514	293	-55	238
2011	611	1626	-951	674	1302	-878	424	324	-73	251
2012	606	1765	-722	1044	1414	-666	747	352	-55	296



**Figura 5** - Simulação da evolução do volume correspondente à área de Gestão Florestal de eucalipto (act. 3.4)



**Figura 6** - Simulação da evolução do sequestro de carbono no período 2008-2012 correspondente às áreas de Gestão Florestal de eucalipto (act. 3.4)



## Discussão

Neste trabalho apresentou-se a metodologia que de momento está a ser utilizada para fazer a estimativa de sequestro de carbono em povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo para o Protocolo de Quioto.

Há ainda perspectivas de melhoramento da metodologia apresentada. O principal ponto está relacionado com a estimativa das taxas de florestação e desflorestação cuja metodologia será diferente da apresentada assim que a cartografia da COS90 for rectificada e estiver disponível a cartografia referente a 2007 (COS2007).

Em relação à simulação da evolução dos povoamentos de eucalipto, está já disponível um simulador baseado na projecção de cada parcela de inventário e que inclui um modelo para a projecção de povoamentos irregulares (BARREIRO e TOMÉ, 2009). Espera-se usar este simulador antes da submissão final do sequestro de carbono para 2008.

Outro problema detectado tem a ver com a estimativa das idades nos povoamentos de eucalipto no último IFN. De facto, verificou-se que a estimativa para a média do índice de qualidade da estação, calculado com a altura dominante e a idade média das árvores dominantes de cada parcela, é muito inferior à estimada com os dados do IFN 1995/1997. Não faz sentido que esta diminuição seja real, mas sim fruto de uma deficiente estimativa de idades. As parcelas de campo foram revisitadas por equipas especificamente treinadas pela CELPA para a estimativa de idades cerca de um ano após terem sido medidas durante o IFN 2005/2006, estando a ser negociado o acesso a esses dados de modo a ser possível "corrigir" a tabela de produção obtida para 2006.

O SIMYT tem alguns pressupostos que podem ser melhorados no futuro: 1) os povoamentos regulares são cortados dos mais velhos para os mais jovens, estando a ser implementado um novo algoritmo que considera probabilidades de corte para cada idade; 2) o simulador assume que todos os povoamentos ardidos que não são abandonados são imediatamente cortados e plantados no ano seguinte, podendo ser considerado um tempo variável entre o fogo, corte e plantação em futuras simulações, o mesmo acontecendo após corte; 4) se o volume da procura não é atingido após a simulação do sequestro de carbono para a área de actividade 3.4 é possível fazer repetições iterativas das simulações 3.3 e 3.4 até que o volume da procura seja atingido.

A melhoria das estatísticas do volume cortado anual é também crucial para as estimativas do sequestro de carbono.

## Bibliografia

- BARREIRO, S., TOMÉ, M., 2009. SIMPLOT: Simulating the impacts of fire severity on sustainability of eucalyptus forests in Portugal. Ecol. Indicat. doi:10.1016/j.ecolind.2009.06.015.
- DGRF, 2006. Manual de instruções para a realização do trabalho de fotointerpretação – 5º Inventário Florestal Nacional. Direcção Geral dos Recursos Florestais, Lisboa, Portugal (publicação interna).
- IGEO, 2009. [www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm](http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm) – consultado em Março de 2009.
- PÁSCOA, F, 1987. Estrutura, crescimento e produção em povoamentos de pinheiro bravo. Um modelo de simulação. Tese de doutoramento. ISA/UTL, Lisboa.
- SOARES, P., OLIVEIRA, T., TOMÉ, M., 2006. O modelo Globulus 3.0. Publicações GIMREF - RC2/2006. Departamento de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.